

## Method for establishing the rotational speed of mechanically commutated d.c. motors

Patent Number:  US6144179

Publication date: 2000-11-07

Inventor(s): SCHULTER WOLFGANG (DE); KESSLER ERWIN (DE)

Applicant(s): TELEFUNKEN MICROELECTRON (DE)

Requested Patent:  DE19729238

Application Number: US19980112205 19980709

Priority Number(s): DE19971029238 19970709

IPC Classification: G05B23/02

EC Classification: G01P3/48, H02P5/16

Equivalents:  EP0890841,  B1,  ES2190011T,  JP11160337

---

### Abstract

---

The method for determining the rotational speed and/or the angle of rotation of mechanically commutated d.c. motors from the variation with respect to time of the ripple of the motor current occurring during commutation is supplemented and checked by a motor state model that functions in parallel to it and is based on the electromechanical motor equations. A probable value of the actual speed is extrapolated from the motor current and the motor voltage and a permissible reference time range is determined for the next commutation. If no commutation time can be established in the reference time range, the extrapolated value is used. Otherwise, the current speed is determined precisely from the commutation time measured in the reference time range. The load-dependent motor constant for the motor state model can be preset as a fixed value or it can be adjusted to the actual speed after commutation processes have been detected. Faults in the measurement and evaluation of the motor current ripple that occurs during commutation can be avoided and the interference-free forwarding of the actual values needed for determining and controlling positions of electrically operated parts can be safeguarded.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

# Patentschrift

(10) DE 197 29 238 C 1

(51) Int. Cl. 6:

G 01 P 3/48

G 01 B 7/30

G 05 D 3/18

H 02 P 5/00

(21) Aktenzeichen: 197 29 238.0-52

(22) Anmeldetag: 9. 7. 97

(43) Offenlegungstag: -

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 27. 8. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(17) Patentinhaber:

TEMIC TELEFUNKEN microelectronic GmbH, 74072  
Heilbronn, DE

(17) Erfinder:

Keßler, Erwin, Dipl.-Ing., 88348 Saulgau, DE;  
Schulter, Wolfgang, Dr.-Ing., 88709 Meersburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 39 35 585 A1

DE 35 27 906 A1

EP 07 30 156 A1

EP 06 89 054 A1

LINDNER u.a.: "Nachschlagewerk Elektrotechnik-  
Elektronik, Leipzig, 2. Aufl., 1983, S. 199 ff.;  
BIRK, M.: Unkonventionelle Drehzahlmessung und  
-regelung bei Gleichstrommotoren. In: Elektronik  
25/14.12.1984, S. 71, 72;

(51) Verfahren zum Ermitteln der Drehzahl bei mechanisch kommutierten Gleichstrommotoren

(51) Das Verfahren zum Ermitteln der Drehzahl und/oder des Drehwinkels bei mechanisch kommutierten Gleichstrommotoren aus dem Zeitverlauf der bei der Kommutation auftretenden Welligkeit (Ripple) des Motorstroms wird durch ein parallel dazu arbeitendes Motorzustandsmodell ergänzt und kontrolliert, dem die elektromechanischen Motorengleichungen zugrunde liegen. Aus dem Motorstrom und der Motorspannung wird ein wahrscheinlicher Wert der aktuellen Drehzahl extrapoliert sowie ein zulässiger Soll-Wertebereich der nächsten Kommutation bestimmt. Kann im Soll-Wertebereich kein Kommutationszeitpunkt bestimmt werden, wird der extrapolierte Wert verwendet. Andernfalls wird aus dem im Soll-Wertebereich erfaßten Kommutationszeitpunkt die aktuelle Drehzahl genau bestimmt. Die für das Motorzustandsmodell erforderliche motorspezifische und lastabhängige Größe kann fest vorgegeben werden oder nach der Detektion von Kommutationsvorgängen jeweils an die aktuelle Drehzahl angepaßt werden. Störungen bei der Erfassung und Auswertung der bei der Kommutation auftretenden Welligkeit (Ripple) des Motorstroms können vermieden und die für eine Positionsermittlung und -steuerung von elektrisch betriebenen Teilen erforderliche störsichere Weiterleitung der aktuellen Werte sichergestellt werden.

DE 197 29 238 C 1

DE 197 29 238 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln der Drehzahl und/oder der Wegstrecke bei mechanisch kommunizierten Gleichstrommotoren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Derartige Verfahren sind bspw. der EP 0 689 054 A1, EP 0 730 156 A1 sowie der DE 39 35 585 A1 zu entnehmen.

Es ist allgemein bekannt, den Wechselanteil des Stromes, die Welligkeit oder gemäß dem englischen Begriff Ripple genannt, von Gleichstrommotoren als Maß für die Drehzahl des Motors zu erfassen, auszuwerten und auszunutzen. In der DE 35 27 906 A1 wird beispielsweise ein sogenanntes Nulldurchgangsverfahren beschrieben, bei dem nach Elimination des Gleicheanteils die Nulldurchgänge des Stromes erfaßt werden.

Bekannt ist außerdem, daß das Verhalten von Gleichstrommotoren mittels eines elektromechanischen Motorzustandsmodells basierend auf den Motorengleichungen beschrieben werden kann, wie es in Fig. 4a und 4b dargestellt ist. Die Motorengleichung  $U_q(t) = c \cdot \Phi \cdot n(t)$ , auch Generatortgleichung genannt, die Motorengleichung  $M_m(t) = C_1 \cdot \Phi \cdot I_a(t)$  sowie der elektrische Zusammenhang

$$U_q(t) = U_M(t) - I_a(t) \cdot R_a - L \cdot \frac{\partial I_a(t)}{\partial t}$$

können ebenfalls der Literatur, bspw. Lindner u. a.: Nachschlagewerk Elektrotechnik – Elektronik, Leipzig, 2. Aufl. 1983, S. 199 ff. entnommen werden. Die Bezeichnungen (vgl. Fig. 4a, b und auch die Gleichungen) sind entsprechend analog gewählt und bedeuten im einzelnen  $U_q$  die induzierte Ankerspannung  $c$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  die motorspezifischen Größen, auch Motorenkonstanten genannt,  $\Phi$  der magnetische Fluß,  $n$  die Drehzahl,  $M_L$  das Lastmoment,  $M_m$  das Motormoment und  $M_B$  das sich daraus ergebende Beschleunigungsmoment,  $I_a$  den Motor- bzw. Ankerstrom,  $U_M$  die Motorklemmenspannung,  $R_a$  den Ankerwiderstand,  $R_k$  den äußeren Klemmenwiderstand,  $L$  die Induktivität der Motorwicklung und  $J$  das Masse-Trägheitsmoment der gesamten rotierenden Anordnung einschließlich der zu bewegenden Teile, bspw. die Fenster.

Beim gattungsbildenden Verfahren der EP 0 689 054 A1 wird das generierte Signal der Stromwelligkeit phasenverschoben und das phasenverschobene zum nicht phasenverschobenen addiert bzw. subtrahiert, wodurch ein insbesondere von Doppelkommutierungsscheinungen befreites Signal gewonnen wird.

Auch das sogenannte ripple-count-Verfahren ist dieser Schrift zu entnehmen. Dem Aufsatz "Unkonventionelle Drehzahlmessung und -regelung bei Gleichstrommotoren" von Birk, Elektronik 25, 14.12.1984, S. 71 f. ist die inkrementale Bestimmung der Drehzahl aus der Kommutierungs-welligkeit des Ankerstroms ebenfalls zu entnehmen.

Aus den oben genannten Schriften sind auch die grundsätzlichen Probleme bei der Erkennung und Auswertung der Stromwelligkeit zu entnehmen, insbesondere die Anfälligkeit gegen Störungen in der Netzschanzung und Doppelkommutierungen. Der schaltungstechnische Aufwand ist bei allen Kompensationsverfahren erheblich und Störungen letztlich nicht auszuschließen.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Verfahren gemäß des Oberbegriffs des Anspruchs 1 derart weiterzuentwickeln, daß der Aufwand der Kompensation reduziert und die Störsicherheit aufrechterhalten beziehungsweise verbessert werden kann.

Die Aufgabe ist durch die kennzeichnenden Merkmale

des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Grundgedanke ist es, mittels des Motorzustandsmodells einen zulässigen Soll-Zeitbereich zu bestimmen und die Ergebnisse der parallel dazu erfolgenden Analyse des Zeitverlaufs der Welligkeit des Motorstroms nur dann in der Auswerteeinheit zu berücksichtigen, wenn diese im Soll-Zeitbereich liegen. Die neben dem Motorstrom und der Motorspannung für das Motorzustandsmodell erforderlichen Größen werden entweder fest vorgegeben oder aber aus dem Verlauf von Motorstrom und Motorspannung abgeleitet und entsprechend angepaßt. So kann die Motorimpedanz bereits im Anlaufzeitpunkt noch vor dem überwinden der Haftreibung bestimmt werden, da in diesem Fall die Drehzahl noch Null und keine induzierte Ankerspannung  $U_q$  vorhanden ist. Durch mehrfache Erfassung von Motorstrom und Motorspannung kann der Wert der Motorimpedanz adaptiv angepaßt und Fehler so weitgehend ausgeschlossen werden. Außerdem kann die temperatur- und lastabhängige motorspezifische Größe  $c$  nach jedem Kommutierungsvorgang neu bestimmt und so für die folgende Extrapolation der Einfluß von Temperatur und Last berücksichtigt werden. Sollte die Arbeitsdauer des Motors relativ kurz sein, so kann die motorspezifische Größe  $c$  auch über die gesamte Arbeitsdauer 25 auf dem fest vorgegebenen Wert bleiben, da insbesondere die thermische Beeinflussung demgegenüber sehr viel langsamer und schwächer abläuft.

Die Verfahrensschritte gemäß Patentanspruch 4 zeigen eine besonders einfache Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei wird jeweils zunächst der nächste Kommutierungszeitpunkt mittels des Motorzustandsmodells extrapoliert, der Soll-Zeitbereich festgelegt und innerhalb dieses der Zeitverlauf der Stromwelligkeit beobachtet.

Ein Vorteil des erforderlichen Konzepts wird deutlich, wenn aufgrund von Störungen kein Kommutierungsvorgang erkannt werden kann. Dann steht der Auswerteeinheit nämlich noch der extrapolierte wahrscheinliche Wert des nächsten Kommutierungszeitpunktes zur Verfügung.

Nach dem Erkennen eines Kommutierungsvorgangs innerhalb des zulässigen Soll-Zeitbereichs wird aus diesem neben der aktuellen Drehzahl und Drehwinkelinkrement auch die motorspezifische Größe erforderlichenfalls mit dem genauen Wert aktualisiert. Die vorzugebenden Größen, wie die motorspezifische Größe, die zumindest zum Motorstart vorgegeben, dann ggfs. adaptiv angepaßt wird, sowie eine Toleranzgröße  $\Delta T$  zur Bestimmung des zulässigen Soll-Zeitbereichs um den wahrscheinlichen nächsten Kommutierungszeitpunkt  $T(m+1)$ , können ohne besonderen Aufwand bei der Herstellung der Motorsteuerung mit gespeichert oder für den jeweiligen Anwendungsfall definiert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren ergänzt die bekannten Verfahren zur Stromwelligkeitsauswertung, erhöht deren Störsicherheit und kommt insbesondere auch ohne die sonst für die Positionierungsaufgaben oftmals erforderlichen teuren Hallsensoren aus.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und der Figuren näher erläutert.

Kurze Beschreibung der Figuren:  
Fig. 1 Schematisches Blockschaltbild einer Anordnung

60 zur Durchführung des Verfahrens,

Fig. 2 Ablaufdiagramm des Verfahrens,

Fig. 3 Darstellung der verschiedenen möglichen Ereignisse der Stromripple,

Fig. 4a und b elektrisches und mechanisches Motorzustandsmodell gemäß dem Stand der Technik.

Fig. 1 zeigt in einem schematischen Blockschaltbild eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens. Vom Motor M werden die Motorspannung  $U_M(t)$  sowie über einen Meß-

widerstand der Motorstrom  $I_a(t)$  erfaßt. Der Motorstrom  $I_a(t)$  wird einerseits dem sogenannten Ripple Detektor 1, einer Anordnung zur Erkennung der Kommutierung aus der Welligkeit des Motorstroms  $I_a(t)$ , zugeführt, andererseits auch dem Motorzustandsmodell 2, welches darüber hinaus noch die Motorspannung  $U_M(t)$  erfaßt. Ripple Detektor 1 und Motorzustandsmodell 2 sind wechselseitig miteinander verbunden und tauschen einerseits die extrapolierten, andererseits die aus dem Motorstrom  $I_a(t)$  real detektierten Ergebnisse aus. So gibt das Motorzustandsmodell 2 dem Ripple Detektor 1 jeweils den Soll-Zeitbereich  $T(m+1) \pm \Delta T$  für den folgenden Kommutierungsvorgang  $T_k(m+1)$  vor. Dabei wird über die Umdrehungszahl  $m$  jeweils eine Umdrehung erfaßt. Falls dieser Kommutierungsvorgang  $T_k(m+1)$  zuverlässig und innerhalb des Soll-Zeitbereichs  $T(m+1) \pm \Delta T$  erkannt wird, werden entsprechend diesem Zeitpunkt  $T_k(m+1)$  die daraus ableitbare aktuelle Drehzahl  $n(t)$  und die motorspezifische Größe  $c$  angepaßt, falls aufgrund von einer Abweichung erforderlich.

Außerdem sind der Ripple Detektor 1 und das Motorzustandsmodell 2 jeweils mit der Auswerteeinheit 3 verbunden, die die im Motorzustandsmodell extrapolierte Drehzahl  $n_M(t)$  und den Soll-Zeitbereich  $T(m+1) \pm \Delta T$  mit der aus dem Motorstrom  $I_a(t)$  ermittelten Drehzahl  $n(t)$  vergleicht und entsprechend aus der jeweils wahrscheinlicheren Größe die Ausgangswerte Drehzahl  $n$  und Drehwinkel  $\varphi$  bereitstellt.

In Fig. 2 ist mittels eines Flußdiagramms der Ablauf des Verfahrens visualisiert. Mit dem Anschluß an eine Versorgungsspannung wird der Ablauf automatisch gestartet und geprüft, ob ein Motorstrom vorliegt. Der Motorstrom dient dabei zunächst zur Erkennung der Aktivierung des Motors.

Wird der Motor eingeschaltet und fließt somit ein Motorstrom, wird zunächst der Stromanstieg noch vor dem Überwinden der Haftriebung gemessen und die Motorimpedanz bestimmt, zumindest aber der ohmsche Anteil gemäß der Gleichung  $R = U_M/I_a$  in der Nähe des Umkehrpunktes, da vor dem Überwinden der Haftriebung ja keine Ankerspannung  $U_q$  induziert wird und der induktive Anteil vernachlässigbar klein gegenüber  $R$  ist. Diese Stromanstiegsauswertung wird in Fig. 2 durch den Block 1 dargestellt.

Mit der Überwindung des Haftriebungs moments wird durch den sich nunmehr drehenden Anker eine Spannung induziert, die gemäß der Formel

$$U_q(t) = U_M(t) - I_a(t) \cdot R - L \cdot \frac{\partial I_a(t)}{\partial t}$$

aus dem Motorstrom  $I_a(t)$  und der Motorspannung  $U_M(t)$  permanent abgeleitet werden kann und die sich bei vernachlässigbarer Induktivität  $L$  noch weiter vereinfacht. Daraus kann gemäß  $U_q(t) \approx c \cdot n_M(t)$  zunächst die wahrscheinliche Drehzahl  $n_m$  abgeschätzt werden. Aus der wahrscheinlichen Drehzahl  $n_M(t)$  wird dann der Soll-Zeitbereich  $T(m+1) \pm \Delta T$  der nächsten Kommutierung  $T_k(m+1)$  abgeleitet. Dies erfolgt im Block 2 der Fig. 2. Als motorspezifische Größe  $c$  wird für den ersten Kommutierungsvorgang ein vorgegebener Wert verwendet, der jedoch nach dem Erkennen der ersten Kommutierung jeweils konkretisiert wird.

Außerdem wird geprüft, ob ein der Drehzahl  $n$  entsprechendes Drehwinkelinkrement noch auftreten kann oder bereits das Ende des Vorstellweges überschritten wird. In diesem Fall wird der Motor abgeschaltet.

Im folgenden wird der Motorstrom  $I_a(t)$  mittels des Ripple Detektors 1 (vgl. Fig. 1) überwacht. Die Auswerteeinheit 3 gemäß Fig. 1 beobachtet dabei, ob der Ripple Detektor 1 bereits außerhalb des Soll-Zeitbereichs  $T(m+1) \pm$

$\Delta T$  der nächsten Kommutierung  $T_k(m+1)$  Stromspitzen detektiert und ignoriert diese, da sie auf externe Störungen des Motorstroms  $I_a(t)$ , bspw. durch Zuschalten anderer Lasten ins Versorgungsnetz, zurückzuführen sind.

5 Tritt innerhalb des Soll-Zeitbereichs  $T(m+1) \pm \Delta T$  ein detektierbarer Stromripple auf, so wird dieser als der nächste Kommutierungsvorgang  $T_k(m+1)$  erkannt. Wie durch den Block 3 in Fig. 2 angedeutet werden soll, wird nun einerseits zunächst die Drehzahl konkret ermittelt und das Drehwinkelinkrement zur Positionszählung für diesen Zeitpunkt gesetzt. Außerdem kann auf Basis des detektierten Kommutierungsvorgangs und der aktuellen Drehzahl die motorspezifische Größe  $c$  neu ermittelt und für die nachfolgende Berechnung angepaßt werden. Dadurch kann das Verfahren an sich verändernde Motorbedingungen, sehr unterschiedliche Vorstellgeschwindigkeiten und Laständerungen oder an Erwärmungen während des Betriebs, angepaßt werden.

Wird jedoch, bspw. aufgrund einer Störung, kein Stromripple detektiert, so wird statt dessen die wahrscheinliche

20 Drehzahl  $n_M$  und der daraus abgeleitete wahrscheinliche Kommutierungszeitpunkt  $T(m+1)$  angenommen. Drehzahl und Drehinkrement werden entsprechend angepaßt und beim Auftreten des nächsten detektierbaren Stromrisses konkretisiert.

25 Wieder wird aus Strom und Spannung die wahrscheinliche Drehzahl und der nächste Kommutierungsvorgang abgeleitet und der Vorgang wiederholt, bis das Ende des Vorstellweges erreicht ist.

Durch das Verfahren kann somit sichergestellt werden, 30 daß die Auswerteeinheit die Position und Drehzahl zuverlässig weitergeben und Doppelkommutierungen etc. abgrenzen kann.

Fig. 3 stellt nun in Periode  $P_1$  dar, wie aus einem sauber detektierbaren Stromripple der Kommutierungszeitpunkt 35  $T_k(m)$  bestimmt wird. So wird insbesondere auch der erste Kommutierungszeitpunkt bestimmt, auf Basis dessen nachfolgend die motorspezifische Größe  $c$  aktuell bestimmt und der nachfolgende wahrscheinliche Kommutierungszeitpunkt  $T(m+1)$  extrapoliert wird.

40 In Periode  $P_2$  wird nur der Fall dargestellt, wenn kein bzw. kein sauber detektierbarer Stromripple (angedeutet durch den punktierten Funktionsverlauf) innerhalb des Soll-Zeitbereichs  $T(m+1) \pm \Delta T$  erkannt wird. Dann wird der wahrscheinliche Kommutierungszeitpunkt  $T(m+1)$  verwendet (vgl. Fig. 3: Punktmarkierung auf der Zeitachse gibt den übernommenen Kommutierungszeitpunkt an).

45 Tritt, wie in Periode  $P_3$  dargestellt, ein Stromripple außerhalb des Soll-Zeitbereichs  $T(m+1) \pm \Delta T$  auf, so wird dieser ignoriert (es ist kein Punkt auf der Zeitachse dargestellt). Ein innerhalb des Soll-Zeitbereichs  $T(m+2) \pm \Delta T$  auftretender Stromripple wird als nächster Kommutierungszeitpunkt  $T_k(m+2)$  auch dann erkannt, wenn er vom extrapolierten, wahrscheinlichen  $T(m+2)$  abweicht, wie in Periode  $P_4$  gezeigt. Es wird der detektierte Kommutierungszeitpunkt  $T_k$  55  $(m+2)$  für die folgende Extrapolation verwandt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln der Drehzahl ( $n$ ) und/oder des Drehwinkels ( $\varphi$ ) bei mechanisch kommutierten Gleichstrommotoren aus dem Zeitverlauf der bei der Kommutierung auftretenden Welligkeit (Ripple) des Motorstroms ( $I_a(t)$ ), indem

60 a) der Zeitverlauf der Welligkeit des Motorstroms ( $I_a(t)$ ) erfaßt, die Zeitpunkte der Kommutierung ( $T_k$ ) bestimmt und daraus in einer Auswerteeinheit (3) die Drehzahl ( $n$ ) und/oder der Drehwinkel ( $\varphi$ ) abgeleitet wird,

dadurch gekennzeichnet, daß

- b) parallel zur Erfassung der Welligkeit des Motorstroms ( $I_a(t)$ ) von einem Motorzustandsmodell, dem die elektromechanischen Motorengleichungen zugrunde liegen, aus dem Motorstrom ( $I_a(t)$ ) und der Motorspannung ( $U_M(t)$ ) ein zulässiger Soll-Zeitbereich ( $T(m) \pm \Delta T$ ) bestimmt wird,
- c) die Zeitpunkte der Kommutierung ( $T_k(m)$ ), nur dann von der Auswerteeinheit (3) berücksichtigt werden, wenn diese im zulässigen Soll-Zeitbereich ( $T(m) \pm \Delta T$ ) liegen und
- d) falls innerhalb des zulässigen Soll-Zeitbereichs ( $T(m) \pm \Delta T$ ) keine Welligkeit einer Kommutierung zugeordnet werden kann, die Auswerteeinheit (3) einen wahrscheinlichen Kommutierungszeitpunkt ( $T(m)$ ) für diesen Soll-Zeitbereich ( $T(m) \pm \Delta T$ ) aus dem Motorzustandsmodell extrapoliert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest der ohmsche Anteil der Motorimpedanz im Anlaufzeitpunkt bestimmt wird, indem zumindest einmal vor dem Überwinden der Haftreibung der Motorstrom ( $I_a$ ) und die Motorspannung ( $U_M$ ) bestimmt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Überwinden der Haftreibung Motorstrom und Motorspannung mehrfach erfaßt werden und aus den Meßwerten von Motorstrom und Motorspannung vorzugsweise der Wert der Motorimpedanz, zumindest aber dessen ohmscher Anteil  $R$  adaptiv angepaßt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- a) mit dem Anstieg des Motorstroms bzw. der Motorspannung werden noch vor dem Überwinden der Haftreibung Motorstrom  $I_a(t)$  und Motorspannung  $U_M(t)$  mehrfach erfaßt und die Werte vorzugsweise der Motorimpedanz, zumindest aber dessen ohmscher Anteil  $R$  adaptiv angepaßt,
- b) der Motorstrom  $I_a(t)$  und die Motorspannung  $U_M(t)$  werden vorzugsweise kontinuierlich, zumindest aber in der Nähe vom Kommutierungszeitpunkt, erfaßt,
- c) im Motorzustandsmodell wird gemäß der vereinfachten Motorengleichung

$$U_q(t) = U_M(t) - I_a(t) \cdot R - L \cdot \frac{\partial I_a(t)}{\partial t}$$

50

die induzierte Ankerspannung  $U_q(t)$  als zur Drehzahl proportionale Größe bestimmt und gemäß der Gleichung  $U_q(t) \approx c \cdot n_M(t)$  die wahrscheinliche Drehzahl  $n_M(t)$  extrapoliert, wobei  $c$  eine motorenpezifische Größe ist, die

c1) aus der bisherig aus den Kommutierungen ermittelten aktuellen Drehzahl  $n(t)$  sowie dem Motorstrom  $I_a(t)$  und der Motorspannung  $U_M(t)$  gemäß der Gleichung

$$c(t) = \frac{U_M(t) - I_a(t) \cdot R - L \cdot \frac{\partial I_a(t)}{\partial t}}{n(t)}$$

60

angepaßt,  
wobei  $L$  die Induktivität der Motorwicklung ist,  
c2) oder, vorzugsweise nur zum Motorstart, fest

vorgegeben wird

- d) aus der wahrscheinlichen Drehzahl  $n_M(t)$  wird der Soll-Zeitbereich  $T(m+1) \pm \Delta T$  der nächsten Kommutierung  $T_k(m+1)$  gemäß der Gleichung  $T(m+1) = T_k(m) + 1/n_M(t)$  vorgegeben, wobei  $\Delta T$  eine vorgegebene Toleranzgröße und  $T(m+1)$  der wahrscheinliche nächste Kommutierungszeitpunkt ist,
- e) im Soll-Zeitbereich  $T(m+1) \pm \Delta T$  wird der Zeitverlauf der Welligkeit des Motorstroms  $I_a(t)$  beobachtet und
- c1) entweder wird die in diesem Zeitintervall auftretende Welligkeit als zulässiger Kommutierungsvorgang  $T_k(m+1)$  erkannt, daraus die aktuelle Drehzahl  $n(t) = n(T_k(m+1)) = 1/(T_k(m+1) - T_k(m))$  sowie das Inkrement des Drehwinkels  $\varphi(t) = \varphi(T_k(m+1)) = \varphi(T_k(m)) + 1 = m+1$  von der Auswerteeinheit weitergegeben und die motorenpezifische Größe  $c$  als  $c(T_k(m+1))$  auf Basis von  $n(t)$  gemäß Schritt c1) angepaßt, oder
- e2) falls im Soll-Zeitbereich  $T(m+1) \pm \Delta T$  kein zulässiger Kommutierungsvorgang  $T_k(m+1)$  erkannt wird, wird die extrapolierte wahrscheinliche Drehzahl  $n_M(T(m+1))$  sowie zum wahrscheinlichen Zeitpunkt  $T(m+1) = 1/n_M(T(m+1)) + T_k(m)$  das Inkrement des Drehwinkels  $\varphi(t) = \varphi(T_k(m)) + 1 = m+1$  von der Auswerteeinheit (3) weitergegeben sowie
- f) alle außerhalb des Soll-Zeitbereichs  $T(m+1) \pm \Delta T$  auftretenden Welligkeit werden ignoriert und die Verfahrensschritte b) bis e) wiederholt.

5. Verwendung der voranstehenden Verfahren zur Positionsermittlung und -steuerung bei elektromotorisch betriebenen Teilen durch Inkrementierung der Drehwinkel von einem einer ersten Ruheposition zugeordneten Nullwert aus, insbesondere auch zur Erkennung von Einklemmfällen bei gleichzeitig noch nicht erreichter zweiter Ruheposition.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

**- Leerseite -**

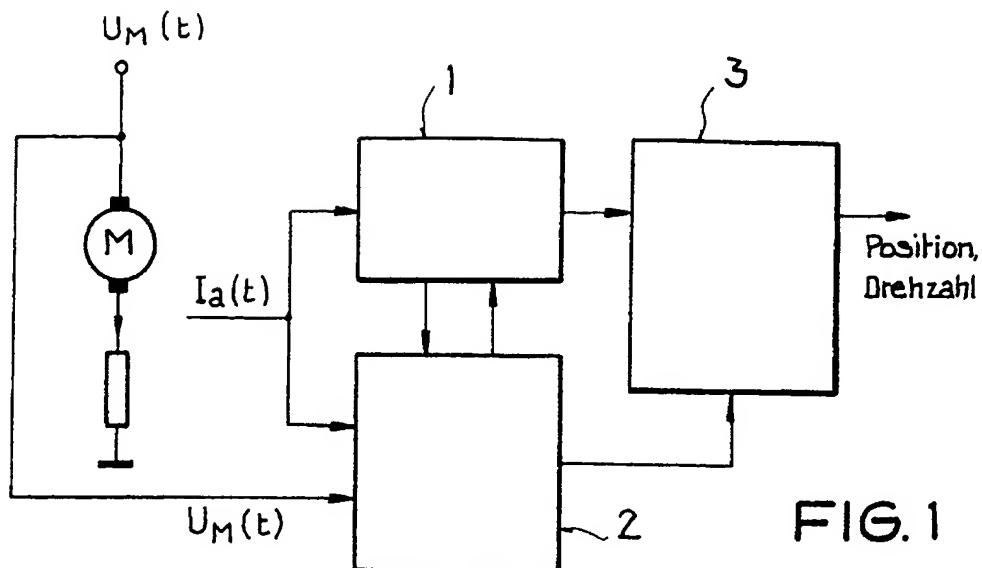


FIG. 1

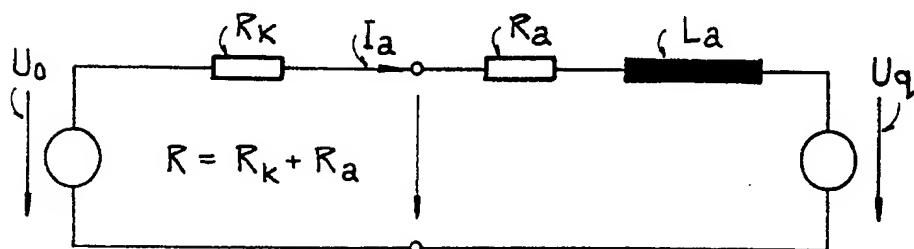


FIG. 4a

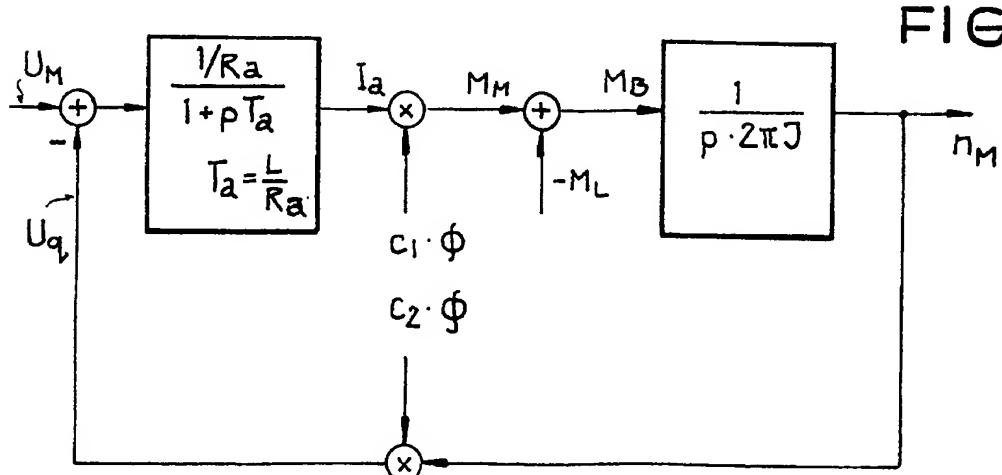


FIG. 4b

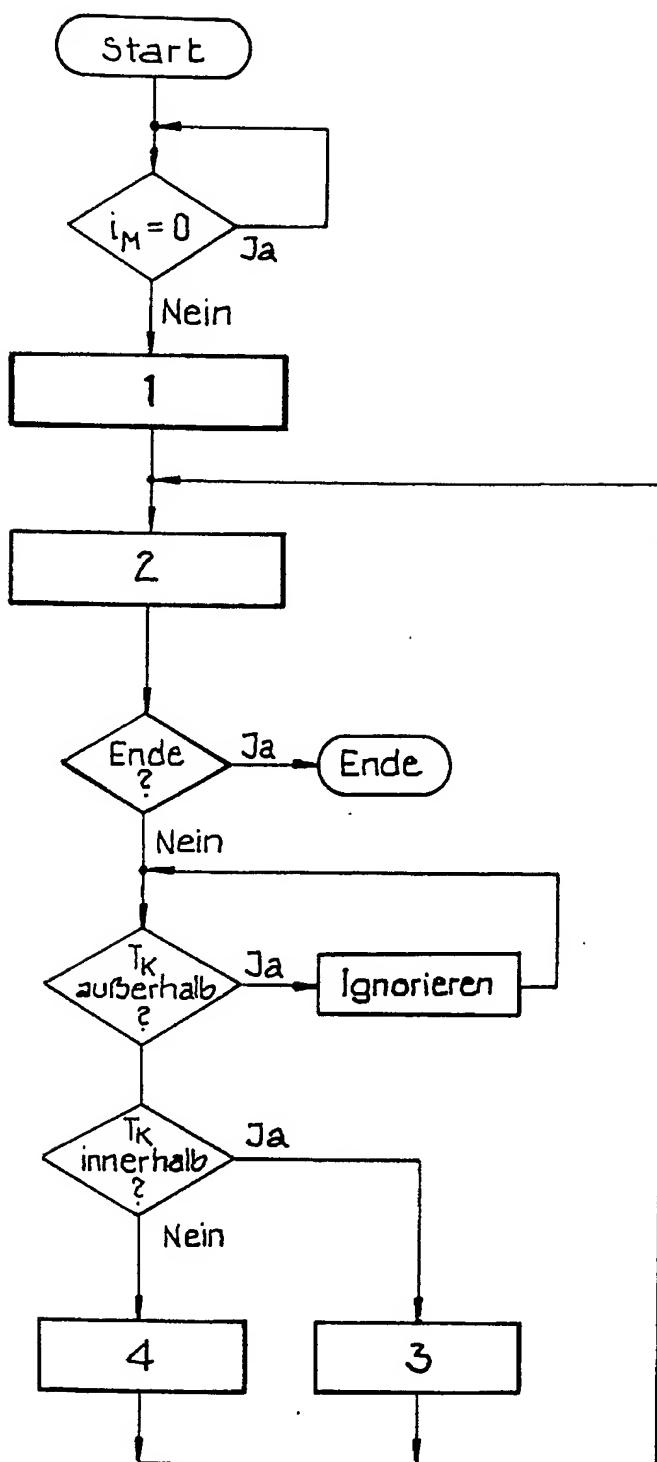


FIG. 2

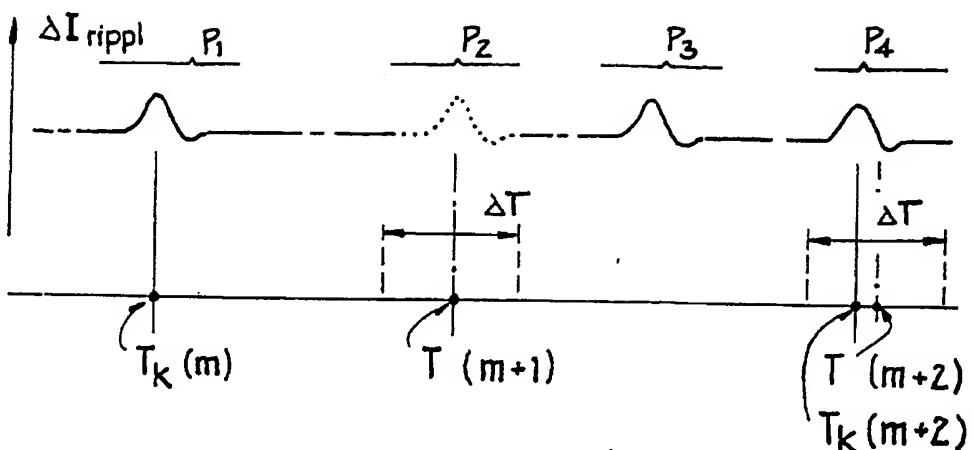


FIG. 3